

54. 都市内流動量分布に関する基礎的研究

A Basic Study on a Flow Distribution in an Urban Area

大津 晶*・腰塚武志**
Shou Ohtsu and Takeshi Koshizuka

In the present paper, we discuss a theoretical flow distribution in an urban area. Using uniform line, we can formulate a flow distribution based on the of segment crossing at each point in the urban area.

If origin and destination points are distributed uniformly in the area, we are able to derive a simple distribution function. Futher more, we integrate the flows on a route to estimate the total cost of movemet.

Keywords : urban traffic flow, theoretical distribution of flow, movement cost, optimum urban scale
都市内流動量, 理論流動量分布, 移動費用, 最適な都市規模

1 はじめに

都市が備えている最も基本的な性質の一つは様々な要素が地理的に集約され, それらが相互に関わり合うことにある. あるいは逆にその集約の程度が周辺に比して著しい地域を指して都市と定義するならば, 都市を分析の対象とするときに, そこに含まれるある要素とまた別のある要素の相対的な関係に注目し, この“2点のペア”を都市を解析するための基本的な単位とすることは大変に意味のあることである. 腰塚¹⁾はここでいう2つの要素の相対的な関係のうち互いの距離に注目して都市を解析することの重要性を論じている.

本研究は同じく“2点のペア”を基本単位とし, 領域内の任意の地点を通過するペアの量すなわち地点流動量からみた都市解析手法の基礎を確立することを目的とする. まず第2,3節で都市と移動を単純にモデル化し都市内流動量分布に関する理論的な基礎を整理した上で, 有限な領域内の理論流動量分布を導出する. 次に第4節では距離分布と流動量分布との関係を持つ意味について説明し, 都市解析への応用可能性について考察を加える. 最後に第5節で流動量分布を考慮した移動費用を定義し都市分析への応用を試みる.

2 流動を議論するための準備

流動量に関する議論を進める前に今後議論の対象とする都市平面における4次元量概念と有限領域内の流動量分布について整理しておく.

先人による数理モデルを用いた都市分析を見てみると, 多くの場合都市は2次元のEuclid空間として捉えられ

てきたといえる. それらの都市モデルにおいて, ある(点的な)要素の位置は2変数を用いて表現される. すなわち平面上の2地点は4次元空間における1点として表すことができるが, その相対的な関係は4変数を用いた量, すなわち4次元量で表されることになる. この相対的な関係についてある条件を満たす2地点のペアの量は前述の4次元空間における点の集合の測度(体積)を表す量であることが分かる.

今後, 2次元平面における2点 P_1, P_2 について, P_1, P_2 間の移動経路を $\mathfrak{R}(P_1, P_2)$ で表し, また P_1, P_2 間で起こる移動量が4次元の密度 $\mu(P_1, P_2)$ を用いて $\int \mu(P_1, P_2) dP_1 dP_2$ で表されるものとする.

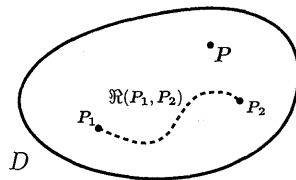


図1 2次元の都市

現実の4次元密度については, PT調査やOD調査の結果などから経験的に両地点の人口と地点間の距離を説明変数としてある程度説明できることがわかっている²⁾が, ここではひとまず $\mu(P_1, P_2)$ としておくことにする.

図1に示した領域D内における移動経路 $\mathfrak{R}(P_1, P_2)$ のうち, 条件Aを満たす P_1, P_2 のペアの量は,

$$\int_{P_1, P_2 \in D, \mathfrak{R}(P_1, P_2) \in A} \mu(P_1, P_2) dP_1 dP_2 \quad (1)$$

と表すことができる.

* 正会員 筑波大学社会工学研究科 (Univ. of Tsukuba)

** 正会員 筑波大学社会工学系 (Univ. of Tsukuba)

しかし現実には式(1)が示す4次元の量は図示することができないうに計数不可能な場合がほとんどであるため、概念的な議論は可能であっても都市分析に利用するには大変に都合が悪い。そこでこの4次元量を通過地点で整理して流動量分布を求めることで有限空間の性質を議論する。

3 都市平面における流動量分布

式(1)は領域内のペアの量を最も一般的に記述したものであったが、これを用いて図1のような有限領域Dに含まれる任意の点Pを通過するペアの量を定式化すると、

$$f(P) = \int_{\mathcal{R}(P_1, P_2) \cap P \neq \emptyset} \mu(P_1, P_2) dP_1 dP_2 \quad (2)$$

となる。

いま移動経路 $\mathcal{R}(P_1, P_2)$ が地点 P_1, P_2 を結ぶ直線上で実現されているとする。このとき領域全体で一様な直線の集合Gを用いて任意の地点Pを通過する流動量を記述できることが分かっている^{4),5)}。

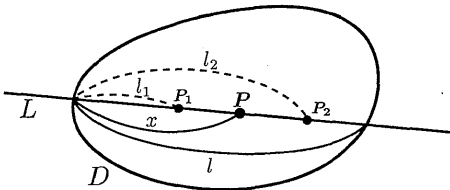


図2 直線L上の流動量

図2のような領域Dを横断する直線L上の流動について考える。直線Lが領域によって切り取られる部分の長さをlとし、一方の交点からの距離xを用いて地点Pを定めると、地点PにおけるL上の流動量 $f_L(P)$ はつぎのように定式化できる。

$l_1 < l_2$ のとき、

$$f_L(P) = \int_{0 < l_1 < x, x < l_2 < l} \mu(P_1, P_2) \cdot (l_2 - l_1) dl_1 dl_2. \quad (3)$$

$l_2 < l_1$ のときも同じ量になるのは明かである。

Lは一様な直線の集合Gから取りだした1本の直線であったから、地点Pを通過するすべての直線について同様に流動量を計算すれば、地点Pを通過する総流動量 $f(P)$ は、つぎのように定式化できる。

$$f(P) = \int_{P \cap G \neq \emptyset} f_L(P) dG. \quad (4)$$

3.1 起終点密度が一様な場合

第3.2節で示す数値計算を用いれば流動量 $f(P)$ を算出することが可能であるが、いくつかの限られた条件の

下で式(4)を解析的に計算して理論流動量分布式を導出する。

いま最も単純な場合を考え、4次元の密度 $\mu(P_1, P_2)$ がペアによらず一定であると仮定する。すなわち、

$$\mu(P_1, P_2) = C \quad (C: \text{定数})$$

のとき、流動量 $f_L(P)$ は、

$$\begin{aligned} f_L(P) &= 2C \int_0^x \int_x^l (l_2 - l_1) dl_2 dl_1 \\ &= 2C \cdot lx(l-x) \end{aligned} \quad (5)$$

となる。

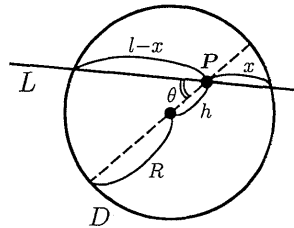


図3 円形の都市領域

特に図3のように領域Dが半径Rの円のとき、式(4)より中心からPまでの距離をh、半径とLが成す角度を θ とすると、

$$f(P) = 4C \int_0^{\frac{\pi}{2}} lx(l-x) d\theta$$

となる。領域が円の場合に限り、

$$x(l-x) = R^2 - h^2 \quad (6)$$

が成り立つので、結局流動量分布 $f(P)$ は、

$$\begin{aligned} f(P) &= 8C(R^2 - h^2) \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{R^2 - h^2 \sin^2 \theta} d\theta \\ &= 8CR(R^2 - h^2) E\left(\frac{h}{R}\right) \end{aligned} \quad (7)$$

となり、中心からの距離と流動量の関係は図4のようなになる。ただし式(7)のEは第2種完全楕円積分を表す。

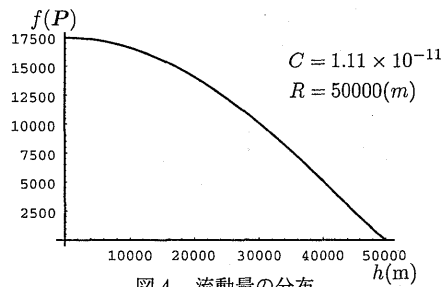


図4 流動量の分布

流動量分布式(7)はVaughan⁶⁾においても別な過程から導出されており、大津⁷⁾は領域内の小円を通過す

る流動量を定式化しこの円の半径を限りなく小さくすることで式(7)を導いている。ただし一般的な直線を用いた導出法は、より一般的な条件での流動量計算を行う上で都合がよいことを後述する。

本稿の冒頭において都市を4次元で考えることの意義について述べたが、異質なもののどうしの交わりが都市らしさの要素であるならば、その交わりの量を記述ないしは定式化しておくことも同じく重要であると考えられる。

ところで式(7)には楕円積分が含まれており実際の都市分析に応用することを考えるとあまり好ましくない。完全楕円積分については、

$$E\left(\frac{h}{R}\right) = \frac{\pi}{2} \left(1 - \left(\frac{1}{2}\right)^2 \frac{h^2}{R^2} - \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}\right)^2 \frac{h^4}{3R^4} \dots \right)$$

のように冪級数展開が可能であり、第2項までを採用した近似流動量分布 $f(P)'$ はつぎのようにかける。

$$f(P) \approx f(P)' = 8R(R^2 - h^2) \frac{\pi}{2} \left(1 - \left(\frac{1}{2}\right)^2 \frac{h^2}{R^2} \right). \quad (8)$$

図5は厳密式(7)に近似式(8)を重ねたものである。

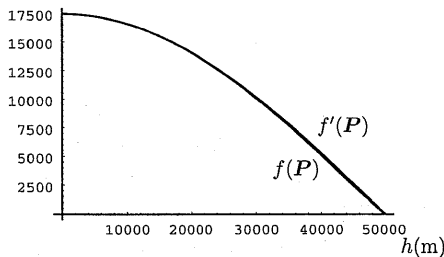


図5 厳密式と近似式の比較

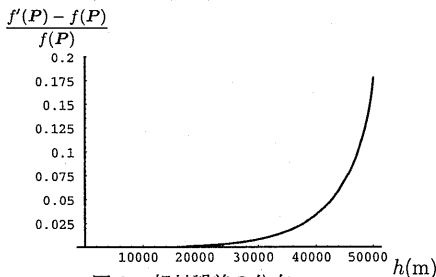


図6 相対誤差の分布

相対誤差は図6に示すとおりであり、比較的簡単な関数型で表される近似式でも実用上問題のない精度が得られることが分かる。

3.2 起終点密度と距離減衰を考慮した場合

前節では式(7)を解析的に導くために、移動の発生集中密度 $\mu(P_1, P_2)$ を定数として取り扱ったが、前述のよ

うに現実の都市における $\mu(P_1, P_2)$ は一定であるとは考えられないので、本節ではいくつかのモデルを適用し流動量分布の数値計算例を示す。

流動量計算に際しては後に示すように式(2)までしかのぼり $\mu(P_1, P_2)$ を任意に仮定すればよい。特に、一般的な直線を用いて定義した式(3)は距離の要素を考慮する場合に大変都合がよいことが分かる。

距離による減衰を考慮しない場合

いま人口(起終点)分布が領域の中心に対して対称に分布し、その密度 $\rho(P)$ が中心からの距離 q の関数で以下のように与えられるものとする。

$$\rho(q) = -\frac{\alpha}{R}q + \alpha.$$

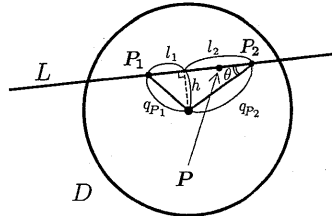


図7 中心に対して対称な都市

l_1, l_2 を改めて図7のように定めると、

$$q_{P_1} = \sqrt{l_1^2 + h^2 \sin^2 \theta}, \quad q_{P_2} = \sqrt{l_2^2 + h^2 \sin^2 \theta}.$$

$$\mu(P_1, P_2) = C \rho(P_1) \cdot \rho(P_2)$$

と仮定し、これと式(3)を用いれば、

$$f_L(P) = 2C \int_{-h \cos \theta}^{\sqrt{R^2 - h^2 \sin^2 \theta}} \int_{h \cos \theta}^{\sqrt{R^2 - h^2 \sin^2 \theta}}$$

$$\left(-\frac{\alpha}{R} q_{P_1} + \alpha \right) \left(-\frac{\alpha}{R} q_{P_2} + \alpha \right) \cdot (l_2 + l_1) dl_2 dl_1 \quad (9)$$

となる。さらにこれを式(4)に代入して数値積分により流動量を計算した結果を図8に示す。都市の半径 $R = 50000(m)$ 、地点間の移動(交通)生起確率 $C = 0.000001$ 、また中心の起終点密度を $\alpha = 0.01, \alpha = 0.02(人/m^2)$ の2通りについて計算した。図から全ての地点で起終点密度が2倍になったとき中心部の流動量(混雑)が4倍弱になることが読みとれる。

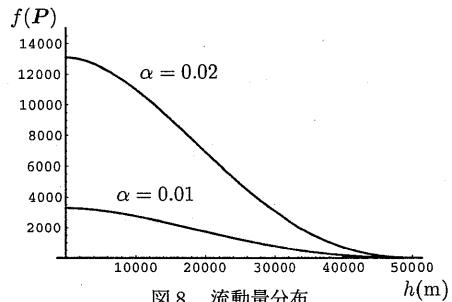


図8 流動量分布

より一般的な起終点密度について、 $\rho(q)$ が Clark の経験式 (指数分布) および Sherratt 型人口分布 (正規分布) に従う場合を考えてみよう。

$$\rho(q) = \alpha e^{-\beta q} \quad (\text{Clark 型}),$$

$$\rho(q) = \alpha e^{-\beta q^2} \quad (\text{Sherratt 型})$$

として人口密度が線形で減少する場合と同じようにすれば、それぞれ $f_L(P)$ を以下のように定式化できる。

・ Clark 型

$$f_L(P) = 2C \int_{-h \cos \theta}^{\sqrt{R^2 - h^2 \sin^2 \theta}} \int_{h \cos \theta}^{\sqrt{R^2 - h^2 \sin^2 \theta}} \alpha^2 e^{-\beta(q_{P_1} + q_{P_2})} (l_2 + l_1) dl_2 dl_1. \quad (10)$$

・ Sherratt 型

$$f_L(P) = 2C \int_{-h \cos \theta}^{\sqrt{R^2 - h^2 \sin^2 \theta}} \int_{h \cos \theta}^{\sqrt{R^2 - h^2 \sin^2 \theta}} \alpha^2 e^{-\beta(q_{P_1}^2 + q_{P_2}^2)} (l_2 + l_1) dl_2 dl_1. \quad (11)$$

距離による減衰を考慮する場合

また一般に移動生起確率は 2 地点間の距離が長くなるにつれて減衰すると考えるのが自然であるから、以下に距離による減衰を考慮する場合について流動量分布を計算する。

ここで 2 点 P_1, P_2 の直線距離を $\|P_1 P_2\|$ で表し、減衰要素 $\nu(P_1, P_2)$ を

$$\begin{aligned} \nu(P_1, P_2) &= \frac{1}{\|P_1 P_2\|^{\gamma}} \\ &= \frac{1}{(l_1 + l_2)^{\gamma}} \end{aligned}$$

のように定義すれば、

$$\mu(P_1, P_2) = C \rho(P_1) \cdot \rho(P_2) \cdot \nu(P_1, P_2)$$

と仮定して式 (3), (4) を用いて流動量を算出できる。

4 距離分布と流動量分布の関係

ここまで流動量分布を用いて 4 次元量を取り扱うための基礎的な理論について述べてきた。ところで距離分布と流動量分布は全く別のもののように考えられるようだが、両者はともに“ペア”という単位で表せる量を対象にするものである。つまり谷村他³⁾などで用いられた距離分布の考え方はこの 4 次元量を距離で整理することで空間の性質を議論するものであったといえる。本節では数式上においても距離分布と流動量分布に密接な関係があることを示す。筆者はこの関係が単に我々の 4 次元量に対する理解を深めてくれるだけでなく、都市分析へ応用できる可能性を持っていると考えているのである。

都市交通計画において都市内移動トリップ長の分布は重要なパラメータであるといえるが、これを知るための OD 調査や PT 調査は一般に大きな費用を伴う。一方地点交通量調査は、比較的容易に実施できるものの調査地点ごとの交通量の多寡以上のものは得られにくい。そこで距離分布と流動量分布の関係を用いて都市交通をモデル化することによって、例えば交通機関分担率の変化が道路混雑現象に与える影響などについて定性的な知見を与えることができよう。

さて上述の距離分布と流動量分布の数式上の関係を示すために、前節で導出した流動量分布を用いて有限領域内の総移動費用を算出する。単位流動量あたりの費用が不変であれば総移動費用は領域内総流動量に比例することは明らかだから、総流動量 $F(R)$ は各地点における流動量 $f(P)$ を領域全体について積分した以下の式 (12) で表される。

$$\begin{aligned} F(R) &= \int_{P \in D} f(P) dP \\ &= \int_0^R 2\pi h \cdot 8R(R^2 - h^2) E\left(\frac{h}{R}\right) dh \\ &= \frac{256\pi}{45} R^5 \end{aligned} \quad (12)$$

単位流動費用を ω_F とすると総移動費用 Ω_F は、

$$\Omega_F = \omega_F \cdot \frac{256\pi}{45} R^5 \quad (13)$$

となる。

さて次に距離分布を用いて改めて総移動費用を導出してみよう。距離分布に関する理論的体系は谷村他³⁾などで詳しく述べられているので、ここではその結果のみ引用することにする。

半径 R の円の領域内に一様に分布する 2 点間の直線距離 r の分布は Crofton の微分方程式を用いるなどして以下のように求めることができる。

$$h'(r) = \frac{4r}{\pi R^2} \arccos \frac{r}{2R} - \frac{r^2}{\pi R^4} \sqrt{4R^2 - r^2}. \quad (14)$$

ただし $h'(r)$ は標準化された確率密度分布式であるから、実際の分布量 $h(r)$ はこれに $(\pi R^2)^2$ を乗じた、

$$h(r) = 4r\pi R^2 \arccos \frac{r}{2R} - \pi r^2 \sqrt{4R^2 - r^2} \quad (15)$$

となる。やはり単位移動距離あたりの移動費用が不変であれば領域内の総移動費用は総移動距離に比例する。2 点 P_1, P_2 の直線距離を $\|P_1 P_2\|$ とすれば式 (15) より、往復を考慮した領域内の総移動距離 $H(R)$ は、

$$\begin{aligned} H(R) &= 2 \int_{\|P_1 P_2\|=r} r dP_1 dP_2 \\ &= 2 \int_0^{2R} r \cdot h(r) dr \end{aligned}$$

$$= \frac{256\pi}{45} R^5 \quad (16)$$

となる。単位移動費用が ω_H で表されるならば、領域内総移動費用 Ω_H は以下ようになる。

$$\Omega_H = \omega_H \cdot \frac{256\pi}{45} R^5 \quad (17)$$

ところで単位移動費用 ω_H と単位流動費用 ω_F はいずれも $1/(\text{ペア} \cdot \text{距離})$ を単位とする値であるから、実は式(13)と式(17)は全く同じ結果を導いていることになる。

以上で示された事実を改めて確認しておこう。式(13)と式(17)が同じ量を表すものであったから、

$$\int_0^R 2\pi h \cdot 8R(R^2 - h^2) E\left(\frac{h}{R}\right) dh = 2 \int_0^{2R} r \cdot h(r) dr$$

が成り立つが、左辺はもともと式(2)で定義されていたので、結局以下の等式が成り立つ。

$$\int_{P \in D} f(P) dP = 2 \int_{\|P_1 P_2\|=r} r dP_1 dP_2. \quad (18)$$

ただし式(18)が成り立つためには両辺を計算するために用いた条件が満たされていることが十分条件である。

領域形状や移動規則などの組み合わせのうちこのモデルでは連続な円形の都市内で直線移動の最も単純な場合を仮定したが、その他の条件において式(18)のような関係が記述できれば、より現実的な都市交通モデルへ拡張できると考えられる。この点は今後の課題である。

5 流動量分布の都市分析への応用

前節までは距離分布を引き合いに出すなどして領域内流動量分布に関する基礎的な性質を整理した。本節では流動量分布の都市分析への応用例を示す。

5.1 混雑現象を考慮した移動費用算出方法

都市施設の立地問題などを数的に扱うモデルでは通常施設利用者の移動費用を需要点から施設までの距離を用いて定義する。ここでは、流動量分布を利用して都心部の交通混雑を考慮した都市内の任意の2点間の移動費用を定義してみる。

2点 P_1, P_2 間の移動費用 $\Omega(P_1, P_2)$ を以下のように定義する (C は定数)。

$$\Omega(P_1, P_2) = C \int_{P \in \mathcal{R}(P_1, P_2)} f(P) dP - \|P_1 P_2\| \quad (19)$$

上式(19)は2点間の経路が交わる流動量の総量を表している。つまり2点間の距離が等しくても、より都心の近くを通過するペアの方が自分以外の移動に交差する量が多いため、所要時間の増加などの費用を支払わなければならないわけである。

$\Omega(P_1, P_2)$ の計算は、2点の相対的な位置関係によっていくつかの場合分けが生ずるので、詳細な説明は省略する。

図9は直線の経路の場合の、地点 P_0 からの等移動費用線を示している。また図10のように2地点からの等移動費用線を重ねれば図中の点線で表すような移動費用境界線が描ける。これは競合する施設の利用圏境界と考えてもよいしその他様々な解釈が可能である。

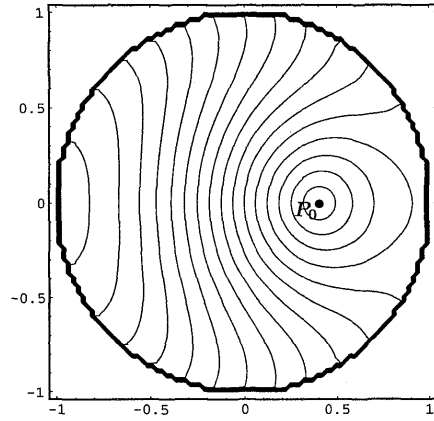


図9 等移動費用線

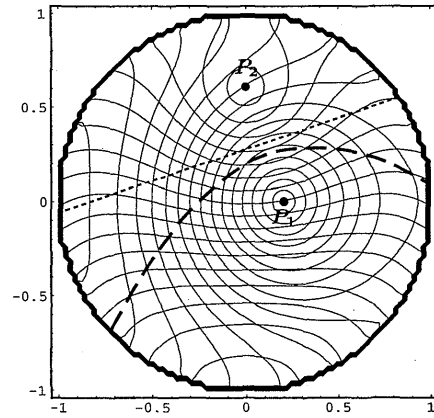


図10 移動費用境界線

5.2 流動量に注目した最適な都市規模

腰塚⁸⁾、鈴木⁹⁾は都市内の総移動費用を最小にする都市形態をコンパクトな都市と定義し、数理モデルを用いて論じている。基本的に移動距離を土台にして移動費用が定義されており、地点交通量が有効な変数としてモデル化されていない。そこで流動量分布を用いて混雑現象を考慮した簡単なモデルを提案し、最適な都市規模について考察する。なお腰塚⁸⁾、鈴木⁹⁾はいずれも高さ方向の移動費用も内性化して最適化しているがここでは垂直移動については考えないことにする。

交通工学の分野では交通量と消費エネルギーの関係について流体力学などを応用したいくつかのモデルがある²⁾が、本稿では紙面の都合もあるのであまり深くは立ち入らないことにし、なるべく変数の少ない単純なモデルを用いて定性的な結論を導いてみよう。

いま人口 N が半径 R の円で表される都市 D に偏りなく居住しているとすると、地点 P の人口密度 $\rho(P)$ は $N/(\pi R^2)$ となる。

全ての移動経路が 2 点を結ぶ線分上で実現し、また

$$\mu(P_1, P_2) = \rho(P_1) \cdot \rho(P_2)$$

が成り立っていると仮定する。

地点流動費用 $\Omega_F(P)$ が地点流動量 $f(P)$ に比例するとき、領域内総流動費用 Ω_F は式 (13) より、

$$\begin{aligned} \Omega_F &= \left(\frac{N}{\pi R^2} \right)^2 \frac{256\pi}{45} R^5 \\ &= \frac{256N^2}{45\pi} R \end{aligned} \quad (20)$$

となり、その他の要素を考慮しなければ領域内総流動費用は都市半径に比例することになる。

つぎに、 $\Omega_F(P)$ が $f(P)$ の 2 乗に比例する場合について考える。楕円積分を含む被積分関数では明示的に計算できないので式 (8) で求めた近似流動量分布式を使って Ω_F を計算すると、

$$\Omega_F = \frac{47N^4}{10\pi} \quad (21)$$

となって都市半径 R と無関係な量になってしまう。

同様に 3 乗の場合ではじめて、

$$\Omega_F = \frac{1931N^6}{140\pi^2} R \quad (22)$$

となって単調減少関数になることが分かる。

領域内総移動費用 Ω が、都市および施設等建設費用 Ω_C と交通混雑により生じる費用の和 Ω_F により、

$$\Omega = \Omega_C + \Omega_F \quad (23)$$

のように決まるものとして、最適な都市半径が決定される条件を調べてみよう。都市施設等建設費用は都市活動の地理的な集約の効果(正負)を考慮する項である。

式 (23) から明らかなように、都市施設等建設費用 Ω_C が定数のときは領域内総移動費用 Ω を最小にする最適な都市半径は決定できない。

Ω_C が都市面積の 1/2 乗に比例するとき、あるいは 1 乗に比例するとき地点流動費用が流動量の 3 乗の関数であれば最適な都市半径が決まることが分かる。

6 おわりに

現代の都市は都市活動が高度に集積し交通は複雑に構成されている。また一方でその一部を代替する可能性をもつ情報通信技術は近年めざましく発達してきた。都市において観測される交通流動はこのような複雑な都市システムのアウトプットであり、そのシステム全体を解き明かすことは困難である。このような状況に、条件を簡潔にした理論から演繹的な接近をする事は重要かつ有意義なことであるといえよう。

本研究はベアの量を基本単位とした都市空間解析の重要性を背景とし、領域内の理論流動量分布に関する基礎的な性質について整理した。領域内の流動量分布はシミュレーションを用いても求めることができるが、条件を単純化することで導かれた理論により閉じた領域内の流動に関する基本的な性質を知ることができた。

さらに流動量分布式を導出する過程で用いた一様な直線による計算方法は、起終点密度が一様でないときなどの明示的な計算が不可能な場合について数値計算を行う際にも利用価値のあるものだといえる。しかし、より現実的な起終点密度分布を与えた場合の流動量分布を定式化することはできなかったが、実際に計算できないものが多い点は数値計算方法などに課題を残した。

また距離分布と起終点分布の関係が式 (18) によって数式上で示されたことは重要な結果だと考えられる。この関係にさらなる解釈を与えこれまで重力モデルなどで便宜的に設定されていた 2 地点間の移動ポテンシャル $\mu(P_1, P_2)$ を逆問題的な発想から現実の交通量データなどを利用して推定できれば、多大な費用を投じて行われている OD 調査や PT 調査に対して資することができると考えている。

参考文献

- 1) 腰塚武志 (1995) : 都市を四次元空間で考える. 現代思想, Vol.23, No.5, pp.208-216.
- 2) (社) 交通工学研究会 (1984) : 交通工学ハンドブック. 技報堂出版株式会社.
- 3) 谷村秀彦, 腰塚武志, 他 (1986) : 都市計画数理, 朝倉書店.
- 4) 腰塚武志 (1976) : 積分幾何学について (3). オペレーションズ・リサーチ, Vol.21, No.11.
- 5) 腰塚武志 (1992) : 都市域の流動に関する理論的考察. 日本都市計画学会学術研究論文集第 27 号, pp.343-348.
- 6) Vaughan Rodney (1987) : URBAN SPATIAL TRAFIC PATTERNS, Pion Limited.
- 7) 大津 晶 (1997) : 都市内流動量を数理的に分析する方法. 筑波大学博士課程社会学部研究科修士論文.
- 8) 腰塚武志 (1995) : コンパクトな都市のプロポーシオン. 日本都市計画学会学術研究論文集第 30 号, pp.499-504.
- 9) 鈴木 勉 (1993) : コンパクトな立体都市空間形態に関する考察. 日本都市計画学会学術研究論文集第 28 号, pp.415-420.